

老视矫治手术治疗最新进展

刘 莛 综述 白继 余婷 审校

400042 重庆,第三军医大学大坪医院野战外科研究所眼科

通信作者:白继,Email:baiji_liujing@163.com

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2017.06.017

【摘要】 老视是一种年龄相关的生理性老化现象。老视手术治疗已逐渐成为屈光手术最终需要面对的挑战。目前,其手术矫治包括眼外(施于角膜或巩膜)和眼内(晶状体置换或施于晶状体本身)两大策略,如角膜准分子激光手术、热传导成形术、飞秒激光基质内环形切开术、角膜植入物手术、各种多焦人工晶状体植入术、可调节人工晶状体植入术、晶状体软化术、巩膜扩张术等。各种手术方法均存在自身的优势和不足。本文就目前现有和近期即将问世的老视治疗方法及其被关注的问题作一综述。

【关键词】 老视;眼屈光;眼外科手术

Surgical options for the correction of presbyopia Liu Ting, Bai Ji, Yu Ting

Department of Ophthalmology, Daping Hospital and Research Institute of Surgery, Third Military Medical University, Chongqing 400042, China

Corresponding author: Bai Ji, Email: baiji_liujing@163.com

【Abstract】 Presbyopia is an age-related eye condition, and its most prominent sign is the reduction in the amplitude of accommodation, resulting in the disability to modify the focus from far to near of the eyes. Surgical therapy of presbyopia still remain great challenge for refractive surgeons. Surgical strategies of presbyopia include extraocular (corneal or scleral) and intraocular procedures, such as excimer laser surgery, conductive keratoplasty, INTRACOR, corneal inlays, multiple types of multi-focal or accommodating intraocular lens, laser-assisted presbyopia reversal, scleral expansion bands, etc. Each procedure owns its unique advantages and disadvantages. This review attempted to address the surgical options available and likely to be available in the near future and discuss the key problems in presbyopia procedures.

【Key words】 Presbyopia; Refraction, ocular; Ophthalmic surgical procedures

老视是人眼随年龄增加而出现的调节幅度逐渐下降的现象,表现为自由变换远、中、近焦点能力的不足或丧失。当前人们对老视治疗的关注程度日益提高,分析原因可能有以下几个方面:(1)人类平均寿命延长,全球人口老龄化加剧;(2)人口整体健康程度提高,学习、工作的年龄延长;(3)信息社会使得人们近距离用眼的的时间及强度大大增加;(4)越来越多的人在年轻时已接受了近视矫治手术,这意味着更多的人在步入老年以后迫切需要改善因老视所致的视觉质量下降。与此同时,生活质量的提高意味着人们不仅要求看得清楚,而且还要求看得舒服和持久。因此,老视的完美治疗已经成为眼科医师必须面对的问题。老视的发病机制至今尚未完全明确,晶状体本身因素和晶状体外因素是目前较为成熟且广为接受的两大类病因^[1],前者体现在随着年龄增加,晶状体囊膜弹性下降、晶状体内部胶原纤维老化并向心性压缩、晶状体密度不断增加,致使晶状体最终失去形变能力;后者则是睫状体、睫状小带及晶状体周围组织发生改变而导致调节能力下降。尽管框架眼镜和

角膜接触镜能够解决老视患者视近困难的问题,但不可否认——“脱镜”才是老视矫治的新高度。无论何种方法,老视手术治疗的理论基础均可归为“调节”和“拟调节”两大类。“调节”原理拟重塑人眼真正、动态和连续的离焦区间;而“拟调节”原理则通过各种非调节因素提供功能性近视力。

1 “拟调节”方法治疗老视

1.1 角膜手术

1.1.1 准分子激光视力矫治术 20世纪50年代 Westsmith 最早提出基于双眼间模糊抑制机制的单眼视,即通过戴镜或手术造成一眼看近、另一眼看远,从而形成轻度屈光参差,以满足人眼对空间深度觉的要求。理想的单眼视是指双眼清晰视力范围等于单眼之和。单眼视可分为两类,传统单眼视是指主视眼看远,非主视眼看近;交叉单眼视则是指主视眼看近,非主视眼看远,多数研究者认为二者在矫治效果上无明显差异^[2],但目前临床上采用的方式多以前者为主。

传统单一焦点单眼视策略的激光视力矫治术 (laser vision correction, LVC) 存在以下不足: 高频对比敏感度 (contrast sensitivity, CS) 降低, 立体视功能下降, 微小角度内斜视漂移, 以及中程视力无法得到良好兼顾等^[3]。而借鉴了多焦理念的单眼视 LVC 的成功率可达 80% ~ 98%^[4], 优于单眼视角膜接触镜。

准分子激光消融形成的角膜多焦状态也称为 PresbyLASIK, 虽然该策略有悖于传统 LVC 手术所倡导的高阶像差最小化理念, 但与多焦人工晶状体 (multifocal intraocular lenses, MIOLs) 等内眼手术相比, PresbyLASIK 眼内炎、偏心、出血等并发症的发生率低, 且可控性更好。

PresbyLASIK 可分为周边负球差和中央负球差两类, 前者利用准分子激光将周边角膜切削后形成负性非球面状态, 使角膜中央用于看远, 而角膜中周部用于看近, 此类 PresbyLASIK 能够提供较好的远视力, 但近视力改善不明显, 其设计主要基于瞳孔对光反射原理, 即人在户外较强光线下看远的时间多于看近, 而户外较强的光线可造成瞳孔缩小, 这样角膜中央近轴光线恰好适合看远, 而适合看远的周边光线被缩小的瞳孔滤除, 如 Nidek Advanced Vision Excimer Laser 系统 (日本 NIDEK 公司)^[5]。另一类中央负球差 PresbyLASIK 则正相反, 准分子激光切削后的中央角膜用于看近, 而中周部用于看远, 此类 PresbyLASIK 即通常所说的“角膜 Q 值调整的”LVC, 该策略的近视力较好, 但会牺牲部分远视力, 如 Wave Eye-Q (德国 Wavelight Allegretto 公司)、Supracor (德国 Technolas Perfect Vision GmbH 公司) 和 CustomVis (澳大利亚 CV Laser 公司)^[6]。与前者不同, 该策略主要是基于瞳孔近反射的原理, 即当视近时, 调节增强, 双眼集合, 同时瞳孔缩小, 这样角膜中央区的近轴光线正好有利于视近状态, 而周边看远的远轴光线被缩小的瞳孔滤除。Amigo 等^[7]采用 Ray tracing 软件模拟了 Navarro 模型眼, 定义使视网膜成像最佳化所需的视标会聚量为该模型眼的屈光状态, 并估算模型眼在 2 ~ 6 mm 连续变化的瞳孔大小的屈光变化, 结果显示当 $-0.6 \leq Q \leq 0$ 时, 瞳孔缩小会导致远视性漂移; 而当 $-1.5 \leq Q < -0.6$ 时, 球差为负值, 瞳孔缩小将引起远点近移的近视性漂移; 当 Q 值为 -1.25 时, 瞳孔缩小可引起最大程度 0.6 D 的近视性屈光变化。Leray 等^[8]对 76 例 45 岁以上远视患者 (+1.00 ~ +2.50 D) 的非主视眼设计了 -0.75 D 的单眼视及 Q 值为 -0.8 的非球面切削, 对其主视眼采用常规远视 LASIK 治疗, 并采用拟调节值 (pseudo-accommodation value, PAV) 评价术后焦深的变化, $PAV = [1/\text{阅读距离 (m)}] - \text{最小近附加 (D)}$, 结果发现术后非主视眼和主视眼视近时的 PAV 分别提高了 (+0.63 ± 0.55) D 和 (+0.25 ± 0.64) D, 且术后因正负球差均增加而使患者的中、近程视力均得到提高。然而, 不论是周边负球差策略还是中央负球差策略, 患者在术后均存在一定程度的适应问题, 如术后立体视和 CS 降低、客观散射指数增加等^[9-10], 但研究发现术后 3 个月时 24% 患者产生不适感, 术后 1 年时仅 7% 患者存在不适感, 说明多数患者可以通过神经系统的主动适应抑制交叉模糊^[11]。

Presbyond Laser Blended Vision (德国 Carl Zeiss 公司) 整合了单眼视和波前像差引导的策略, 即主视眼矫治至正视, 用于

看远; 非主视眼矫治至轻度近视 (-1.5 D), 用于看近。该策略除采用单眼视原理外, 还采用了波前像差技术在角膜光学区内形成连续的屈光力变化梯度, 以提高单眼视的舒适度^[12-14]。

另一项基于角膜双非球面转调技术的老视矫治软件 PresbyMAX (德国 Shwind 公司) 提出 eye-tech-solutions, 即角膜中央部明显凸起用于看近, 而中周部用于看远^[15]。

1.1.2 热传导角膜成形术 作为激光角膜热成形术的升级版, 热传导角膜成形术 (conductive keratoplasty, CK) 采用低频电磁波使中周部角膜胶原纤维挛缩, 以形成中央高、周边低的角膜形态, 从而增强中央角膜屈光力, 用于看近。电磁波通过围绕视轴区、呈环形分布 (6、7 和 8 mm) 的细针插入周边角膜基质内, 能量通常设置为 0.6 W, 时间为 0.6 s, 每环 8 ~ 32 点。该策略虽然较角膜制瓣或切削等相关技术相对安全, 但由于精准性不够、角膜瘢痕形成以及远期的高回退率限制其成为主流方式^[16-17]。

1.1.3 飞秒激光基质内环形切开术 德国 Technolas Perfect Vision GmbH 公司的 INTRACOR 技术并不切开或切除角膜, 只是采用飞秒激光在非主视眼视轴区 2 ~ 4 mm 范围内基质层制作 5 个同心圆, 使中央区在眼压作用下轻度变凸 (1 ~ 2 D), 从而改变角膜非球面状态及全眼球差, 优化看近功能。有研究认为该技术有效、安全^[18], 但亦有其他研究证实术后 1 个月时裸眼近视力 (uncorrected near visual acuity, UCNVA) 无明显提高^[19], 且最佳矫正远视力 (best distance corrected visual acuity, BDCVA) 下降^[20] 以及伴随中央角膜前凸形态“复原倾向”的矫治效果回退^[21]。

1.1.4 角膜植入物 角膜植入物 (corneal inlays, CIs) 通常被放在角膜瓣下或飞秒激光制成的小囊袋内, 具有如下优点: 随时可移除、保留了大部分周边神经纤维以维持角膜敏感性、“增加性手术”理念为以后的老视手术创造机会等。与 CIs 相关的并发症包括远视漂移, 眩光, 明、暗环境下 CS 下降, 角膜变薄、溶解, 离焦曲线增宽等^[22-23]。目前主要有 3 种 CIs, 但不论何种 CIs, 中心对位至关重要, 否则将严重影响术后视觉质量。(1) 改变屈光指数的双焦点 CIs Flexivue Microlens (美国 Presbia 公司) 和 Icolens (瑞士 Neoptics AG 公司) 目前正在进行临床试验, 其中 Flexivue (前身为 Invue) 是唯一采用附加屈光力策略的^[24-25]。(2) 改变角膜曲率的 CIs Garza 等^[26]采用飞秒激光制瓣, 对 30 眼近视眼进行了双侧 LASIK 近视矫治术, 并在其中非主视眼植入 Raindrop Near Vision Inlay (美国 ReVision Optics 公司), 随访 1 年, 以术后矫正远视力 (corrected distance visual acuity, CDVA) 和矫正近视力 (corrected near visual acuity, CNVA) 为安全性指标, 以裸眼近视力 (uncorrected near visual acuity, UNVA)、裸眼中程视力 (uncorrected intermediate visual acuity, UIVA) 和裸眼远视力 (uncorrected distance visual acuity, UDVA) 为有效性指标, 辅以调查问卷共同评价该手术, 结果未发生任何眼 CDVA 损失 2 行以上情况, 所有随访时间点的双眼 UNVA、UIVA 和 UDVA 均优于 20/25 (Snellen 视力表), 6 个月时 93% 术眼在所有测试距离均能达到 20/25 (Snellen 视力表) 以上的双眼视力, 且问卷调查显示 98% 的患者在执行远、中、近

各程视觉任务时完全脱镜,90%的患者满意或非常满意。(3)通过小孔原理增加景深 目前,多数研究报道单眼植入 Kamra CI(美国 AcuFocus 公司)在持久提高远、中视力的同时,还可不损失远视力^[22,27]。Tomita 等^[23]对 3 个年龄组的近视散光患者施予了 LAISK 制瓣的 Kamra CI 植入术,对其 UDVA、CDVA、UNVA 以及问卷调查结果进行比较,认为虽然 3 个组间的安全性、有效性相似,但 60~65 岁组的 UDVA、UNVA 和满意度最佳。此外,比起其他类型的 CIs, Kamra CI 的大小、材质及外观尚待改进,且可造成一定程度上术眼视野的改变。

1.2 晶状体手术

治疗老视的晶状体手术是在摘除白内障或透明晶状体后,眼内植入 1 枚能够模拟原有晶状体功能的 IOLs,即可调节或拟调节 IOLs。此类手术术前的精准测量、精确计算、精细手术以及恰当的患者选择是患者术后能够获得全程而清晰视力的关键。

1.2.1 MIOLs

MIOLs 可以产生 2~3 个焦点,但只有 1 个成像最清晰。尽管关于 MIOLs 植入术改善老视的报道众多^[28],但也存在因 CS 下降、幻视、近、中视力受累引起患者满意度降低以及二次手术(IOLs 置换)率较高等问题^[29]。(1)折射型 MIOLs 折射型 MIOLs 的设计采用 2 个以上、环形分布、屈光度不同的区域,不同区域分别负责远焦点或者近焦点成像,成像质量受瞳孔大小、近反射及 MIOLs 位置的影响较大。2005 年,美国 FDA 批准 ReZoom 上市(美国 AMO 公司),该 MIOLs 为 3 片式,具有 5 个屈光带:其中 1、3、5 负责成焦远像,而 2、4 则负责成焦近像。研究证实 ReZoom 可获得良好的远、中视力,但近视力和阅读时脱镜率稍显逊色^[30]。M-flex(英国 Rayner 公司)基于非球面多区带折射技术,能够提供+2.25~+3.00 D 的附加屈光度。有报道认为折射型 MIOLs 较衍射型 MIOLs 能引起更多的视物不适现象,且该因素为引起 MIOLs 植入术后患者满意度下降的首要原因^[31-32]。(2)衍射型 MIOLs 光线遇到障碍物时减速并改变方向的现象称为衍射。衍射型 MIOLs 在 IOLs 表面采用显微阶梯,当光线遇到这些高度、宽度各不相同的阶梯时,就会向着远、近焦点改变方向,从而成像于不同的焦点。衍射型 MIOLs 又可以分为绕射型和非绕射型,前者的显微阶梯高、宽度从中央到周边逐渐降低,如 ReSTOR(美国 Alcon 公司),而后者则保持一致高度,如 Tecnis(美国 AMO 公司)和 AT LISA 809(德国 Carl Zeiss Meditec 公司),二者的外周区域均为折射区。绕射型 MIOLs 阶梯渐进式衍射结构与周边折射区相融合,使得光线随瞳孔尺寸变化的分布更为合理。众多研究报道衍射型 MIOLs 不仅可获得良好而持久的远、近视力,而且较折射型 MIOLs 而言,能够减少夜间光晕的现象,提高患者术后满意度^[33-34]。但是衍射型 MIOLs 对中程视力和 CS 的改善作用并无明显突破,因此三焦点 MIOLs 应运而生,如 AT LISA tri 839MP(德国 Carl Zeiss Meditec 公司)、FineVision(比利时 PhysiOL SA 公司)和 MIOL-Record 三焦点 IOLs(俄罗斯 Reper NN 公司),研究证实这些 MIOLs 在改善各程裸眼视力、提高脱镜率上均有显著提高^[35-36]。然而作为新兴事物,三焦点 MIOLs 的临床应用价值尚需经过多中心、大型临床研究进一步证实。

(3)旋转不对称 MIOLs

与前述各种旋转对称设计的 MIOLs 不

同,基于旋转不对称理念的 MIOLs 不受瞳孔大小影响,能够减少入射光线因散射引起的损失。Lentis MPlus LS-312 及其升级版 X LS-313(德国 Oculentis GmbH 公司)的初期研究结果证实,这一旋转不对称 MIOLs 在提高远、中、近各程视力的同时,还能保留高 CS^[37-39]。另一种旋转不对称 MIOLs 为 SBL-3(美国 Lenstec 公司),它在远焦点和近焦点之间具有独特的三维无缝移行区,可在获得良好远、近视力的同时,保留中程视力,并减少幻视症状^[40]。

1.2.2 有晶状体眼 MIOLs

前房型 MIOLs 也可矫治屈光不正和老视,Newlife(法国 IOLTECH 公司)和 Vivarte Presbyopic(美国 CibaVision 公司)是最早上市的前房型多焦 MIOLs。早期临床研究显示,前房型 MIOLs 治疗屈光不正和老视的效果及可预测性良好^[41]。然而,前房型 MIOLs 难以避免医源性散光、角膜内皮失代偿、瞳孔变形、慢性葡萄膜炎、瞳孔阻滞性青光眼、色素播散综合征以及并发性白内障等较为严重的并发症。

2 “调节”方法治疗老视

有研究证实随年龄增长,睫状肌并未出现萎缩,而且还具有一定功能。青年人晶状体眼一般具有 7~8 D 的真实调节,然而对于老视患者而言,只需重建 2~3 D 的真实调节就可以在很大程度上改善其生活质量。

2.1 晶状体手术

2.1.1 可调节 IOLs

可调节 IOLs(accommodating intraocular lens, AIOLs)的设计理念众多,如可塑凝胶、流体驱替及弹性襻等,目的都是为了借助睫状肌收缩、囊袋弹性改变或玻璃体腔压力变化引起 IOLs 的形变或位移,从而使术眼光学焦点能够前后移动。AIOLs 这一系列模拟“调节”的过程依赖于 IOLs 的光学区与襻之间独特的铰链结构。

理论上,当 IOLs 屈光力一定且在囊袋内位置居中,前、后房稳定时,单一光学区和双光学区的 AIOLs 发生 1.0 mm 位移可分别引起约 1.0 D 和 2.5~3.0 D 的调节。单一光学区 AIOLs 也被看作“拟调节”代表,因其在囊袋内的前移不能提供足够的、有功能意义的调节,如 Crystalens HD(美国 Bausch & Lomb 公司)、Tetraflex HD(美国 Lenstec 公司)和 1 CU Human Optics(德国 Human Optics AG 公司)。虽然有关单一光学区 AIOLs 的各项临床研究均显示其术后视觉效果令人满意^[42],但是后发性白内障和随时间推移调节幅度逐渐变小也是其常见并发症。为了增加调节幅度,前半部使用高度动态正镜,而后半部使用静态负镜的双光学区 AIOLs 应运而生,如 Synchrony IOL(美国 AMO 公司)和 Sarfarazi IOL(伊朗 Shenasa Medical 公司)。针对这类 AIOLs 的临床研究为数不多,可能与手术技巧要求较高有关^[43]。

近来还有一些处于研发阶段的新型 AIOLs,如依赖调节运动改变自身曲率或形状的 AIOLs,以及独特充填技术制造的 AIOLs。FluidVision 晶状体(美国 PowerVision 公司)在调节动作时会一种多聚体液态屈光物质从晶状体的软襻经隧道驱入光学区的活化物内,引发一系列光化学反应,从而改变晶状体形态及曲率,得到平均 5.0 D 的调节^[44]。Alió 等^[45]研究发

现,位于睫状沟的 Nulens(以色列 Nulens 公司)使 10 例萎缩性黄斑变性的白内障患者在术后 1 年时获得了约 10.0 D 的调节。SmartLens(美国 Medennium 公司)采用具有独特热力学特质的疏水性丙烯酸酯制成,当植入囊袋后,体温驱使其转变为具有自然晶状体形态的凝胶状多聚物,目前尚未见到有关该 AIOLs 的研究报道。

值得一提的是,由于 AIOLs 相对新兴且缺乏针对性的客观评价手段,因此扩大样本量、延长随访期、多中心大型临床研究对于科学认识及评价 AIOLs 十分必要。

2.1.2 晶状体软化 尽管通过药物“软化”弹性降低的老化晶状体不失为一种部分恢复调节的方法,但目前尚无此类报道,且药物选择性、不良反应、量效关系等均可能成为制约其进入临床使用的因素。相比之下,飞秒激光可以在保证囊袋完整性无损的情况下制作晶状体内部滑动的立体切面,以改变其胶原纤维僵硬状态,提高晶状体弹性,从而治疗老视。一些临床研究已经证实,飞秒激光能够安全、有效地提高人体尸眼和兔眼的晶状体弹性(平均提高 16%),且未产生白内障、视网膜损伤、急性眼内炎症等并发症^[46]。Chang 等^[47]采用 LENSAR 飞秒激光治疗仪(美国 LENSAR 公司)对 80 例白内障患者进行老视治疗,结果证实主观和客观调节均提升约 50%,且 40% 的患者 BDCVA 提高。

2.2 巩膜手术

20 世纪基于 Schachar 调节假说的巩膜扩张术一度成为老视手术治疗的热点。该假说认为调节时睫状肌收缩,前、后部悬韧带松弛,赤道部悬韧带紧张,晶状体赤道部张力增加,于是晶状体直径增大,周边变扁平,而中央变凸,导致晶状体中央屈光力增大。随着年龄的增长,晶状体厚度逐渐增加,睫状肌环向内移动,晶状体赤道部与睫状肌之间的环形空间狭窄^[48],悬韧带松弛,晶状体赤道部所受张力下降,引起晶状体形变日渐困难,最终出现老视。然而,也有学者采用房角录像、红外照相和 MRI 等手段证实晶状体直径和表面积随调节运动而减小。尽管 Schachar 的调节假说尚不完美,但该假说推测扩张睫状肌上方的巩膜壁可使睫状肌远离晶状体赤道部,从而提高调节幅度,逆转老视进程。基于 Schachar 调节假说的老视手术方法,如激光辅助的老视逆转术(laser-assisted presbyopia reversal, LAPR)和巩膜扩张带植入术(scleral expansion bands, SEB),其代表性设备为 LaserACE(美国 Ace Vision Group 公司)和 VisAbility Implant System(美国 Refocus 集团)。

2.2.1 LAPR LAPR 目的在于降低眼球壁刚性,扩大晶状体赤道部与睫状肌之间的环形空间,增加睫状肌施予晶状体的“净力”作用。手术采用手持式钬-YAG 激光光纤,在各象限巩膜壁分别输出 9 个呈钻石矩阵形排列的光斑,以缩短锯齿缘与巩膜突之间的距离,增加前睫状肌纤维至晶状体赤道部的空间,恢复调节系统的解剖关系。

2.2.2 SEB 早期 SEB 结果不一,有报道认为其疗效不持久,仅能在术后早期增加一定程度的调节幅度^[49]。VisAbility Implant System(美国 Refocus 集团)用钻石刀或一次性巩膜切开器分别在 4 个象限的巩膜壁上制作纵向小囊袋,然后将 4 个米

粒大小的植入物放入其内,通过植入物对巩膜施加的张力扩大前睫状肌纤维至晶状体赤道部的空间,增加睫状肌的工作距离,术后经视近训练恢复睫状肌力量,最终提高调节力,逆转老视。该手术方式现已更新为 2 代,即 2 片锁扣式植入物,以避免 1 代的 1 片式植入物易发生滑脱等并发症,目前正在进行 FDA 临床试验。

3 小结

尽管近年来老视的手术治疗已有长足发展,但各种方式均存在自身利弊。为了更加客观、全面地反映疗效,笔者提倡研究中不仅应该报道 UCNVA,还应体现 BDCVA,以尽可能地减少近视等混杂因素和散光对疗效的影响;另外,还应重视瞳孔大小、照明条件等关键问题的阐述,以避免“针孔效应”对研究的影响;最后,因神经系统适应和角膜形态回退是长期过程,所以建议研究的随访时间应当适当延长。

未来的老视手术应当遵循以下原则:术前充分评估患者用眼需求、期望值、周围环境照明度、白内障分级及其他眼部疾患,合理设计术式;术中精确定位、轻柔操作、降低负性损伤;术后加强随访和宣教并辅以必要功能训练,以使手术更加安全、有效且精准,得到更多老视患者的认可。

参考文献

- [1] Lubatschowski H, Schumacher S, Wegener A, et al. fs-Lentotomy: presbyopia reversal by generating gliding planes inside the crystalline lens[J]. *Klin Monbl Augenheilkd*, 2009, 226(12): 984-990. DOI: 10.1055/s-0028-1109941.
- [2] Ito M, Shimizu K, Niida T, et al. Binocular function in patients with pseudophakic monovision[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2014, 40(8): 1349-1354. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.11.038.
- [3] Han J, Hong S, Lee S, et al. Changes in fusional vergence amplitudes after laser refractive surgery for moderate myopia[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2014, 40(10): 1670-1675. DOI: 10.1016/j.jcrs.2014.01.043.
- [4] Levinger E, Trivizki O, Pokroy R, et al. Monovision surgery in myopic presbyopes: visual function and satisfaction[J]. *Optom Vis Sci*, 2013, 90(10): 1092-1097. DOI: 10.1097/OPX.000000000000002.
- [5] Alió JL, Chaubard JJ, Caliz A, et al. Correction of presbyopia by technovision central multifocal LASIK (presbyLASIK)[J]. *J Refract Surg*, 2006, 22(5): 453-460.
- [6] Luger MH, Ewering T, Arba-Mosquera S. One-year experience in presbyopia correction with biapheric multifocal central presbyopia laser in situ keratomileusis[J]. *Cornea*, 2013, 32(5): 644-652. DOI: 10.1097/ICO.0b013e31825f02f5.
- [7] Amigo A, Bonaque S, López-Gil N, et al. Simulated effect of corneal asphericity increase (Q-factor) as a refractive therapy for presbyopia[J]. *J Refract Surg*, 2012, 28(6): 413-418. DOI: 10.3928/1081597X-20120518-04.
- [8] Leray B, Cassagne M, Soler V, et al. Relationship between induced spherical aberration and depth of focus after hyperopic LASIK in presbyopic patients[J]. *Ophthalmology*, 2015, 122(2): 233-243. DOI: 10.1016/j.ophtha.2014.08.021.
- [9] Garza EB, Chayet A. Safety and efficacy of a hydrogel inlay with laser in situ keratomileusis to improve vision in myopic presbyopic patients: one-year results[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2015, 41(2): 306-312. DOI: 10.1016/j.jcrs.2014.05.046.
- [10] Baudu P, Penin F, Arba MS. Uncorrected binocular performance after biapheric ablation profile for presbyopic corneal treatment using AMARIS with the PresbyMAX module[J]. *Am J Ophthalmol*, 2013, 155(4): 636-647. DOI: 10.1016/j.ajo.2012.10.023.
- [11] Alarcón A, Anera RG, Villa C, et al. Visual quality after monovision correction by laser in situ keratomileusis in presbyopic patients[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2011, 37(9): 1629-1635. DOI: 10.1016/j.jcrs.2011.03.042.

- [12] Reinstein DZ, Archer TJ, Gobbe M. LASIK for myopic astigmatism and presbyopia using non-linear aspheric micro-monovision with the Carl Zeiss Meditec MEL 80 Platform[J]. J Refract Surg, 2011, 27(1): 23-37. DOI: 10.3928/1081597X-20100212-04.
- [13] Reinstein DZ, Carp GI, Archer TJ, et al. LASIK for presbyopia correction in emmetropic patients using aspheric profiles and a micro-monovision protocol with the Carl Zeiss Meditec MEL 80 and VisuMax[J]. J Refract Surg, 2012, 28(8): 531-541. DOI: 10.3928/1081597X-20120723-01.
- [14] Falcon C, Norero MM, Sancho MY. Laser blended vision for presbyopia: results after 3 years[J]. J Fr Ophthalmol, 2015, 38(5): 431-439. DOI: 10.1016/j.jfo.2015.02.002.
- [15] Uthoff D, Pözl M, Hepper D, et al. A new method of cornea modulation with excimer laser for simultaneous correction of presbyopia and ametropia[J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2012, 250(11): 1649-1661. DOI: 10.1007/s00417-012-1948-1.
- [16] Ayoubi MG, Leccisotti A, Goodall EA, et al. Femtosecond laser in situ keratomileusis versus conductive keratoplasty to obtain monovision in patients with emmetropic presbyopia[J]. J Cataract Refract Surg, 2010, 36(6): 997-1002. DOI: 10.1016/j.jcrs.2009.12.035.
- [17] Moshirfar M, Anderson E, Hsu M, et al. Comparing the rate of regression after conductive keratoplasty with or without prior laser-assisted in situ keratomileusis or photorefractive keratectomy[J]. Middle East Afr J Ophthalmol, 2012, 19(4): 377-381. DOI: 10.4103/0974-9233.102743.
- [18] Ruiz LA, Cepeda LM, Fuentes VC. Intrastromal correction of presbyopia using a femtosecond laser system[J]. J Refract Surg, 2009, 25(10): 847-854. DOI: 10.3928/1081597X-20090917-05.
- [19] Menassa N, Fitting A, Auffarth GU, et al. Visual outcomes and corneal changes after intrastromal femtosecond laser correction of presbyopia[J]. J Cataract Refract Surg, 2012, 38(5): 765-773. DOI: 10.1016/j.jcrs.2011.11.051.
- [20] Holzer MP, Knorz MC, Tomalla M, et al. Intrastromal femtosecond laser presbyopia correction: 1-year results of a multicenter study[J]. J Refract Surg, 2012, 28(3): 182-188. DOI: 10.3928/1081597X-20120203-01.
- [21] Saad A, Grise-Dulac A, Gatinel D. Bilateral loss in the quality of vision associated with anterior corneal protrusion after hyperopic LASIK followed by intrastromal femtosecond laser-assisted incisions[J]. J Cataract Refract Surg, 2010, 36(11): 1994-1998. DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.07.006.
- [22] Vilupuru S, Lin L, Pepose JS. Comparison of contrast sensitivity and through focus in small-aperture inlay, accommodating intraocular lens, or multifocal intraocular lens subjects[J]. Am J Ophthalmol, 2015, 160(1): 150-162. DOI: 10.1016/j.ajo.2015.04.023.
- [23] Tomita M, Kanamori T, Waring GO, et al. Simultaneous corneal inlay implantation and laser in situ keratomileusis for presbyopia in patients with hyperopia, myopia, or emmetropia: six-month results[J]. J Cataract Refract Surg, 2012, 38(3): 495-506. DOI: 10.1016/j.jcrs.2011.10.033.
- [24] Linnopoulou AN, Bouzoukis DI, Kymionis GD, et al. Visual outcomes and safety of a refractive corneal inlay for presbyopia using femtosecond laser[J]. J Refract Surg, 2013, 29(1): 12-18. DOI: 10.3928/1081597X-20121210-01.
- [25] Baily C, Kohner T, O'Keefe M. Preloaded refractive-addition corneal inlay to compensate for presbyopia implanted using a femtosecond laser: one-year visual outcomes and safety[J]. J Cataract Refract Surg, 2014, 40(8): 1341-1348. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.11.047.
- [26] Garza EB, Chayet A. Safety and efficacy of a hydrogel inlay with laser in situ keratomileusis to improve vision in myopic presbyopic patients: one-year results[J]. J Cataract Refract Surg, 2015, 41(2): 306-312. DOI: 10.1016/j.jcrs.2014.05.046.
- [27] Seyeddain O, Bachernegg A, Riha W, et al. Femtosecond laser-assisted small-aperture corneal inlay implantation for corneal compensation of presbyopia: two-year follow-up[J]. J Cataract Refract Surg, 2013, 39(2): 234-241. DOI: 10.1016/j.jcrs.2012.09.018.
- [28] Santhiago MR, Wilson SE, Netto MV, et al. Visual performance of an apodized diffractive multifocal intraocular lens with +3.00-d addition: 1-year follow-up[J]. J Refract Surg, 2011, 27(12): 899-906. DOI: 10.3928/1081597X-20110816-01.
- [29] Alió JL, Plaza-Puche AB, Piñero DP, et al. Quality of life evaluation after implantation of 2 multifocal intraocular lens models and a monofocal model[J]. J Cataract Refract Surg, 2011, 37(4): 638-648. DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.10.056.
- [30] Forte R, Ursolo P. The ReZoom multifocal intraocular lens: 2-year follow-up[J]. Eur J Ophthalmol, 2009, 19(3): 380-383.
- [31] Cillino S, Casuccio A, Di PF, et al. One-year outcomes with new-generation multifocal intraocular lenses[J]. Ophthalmology, 2008, 115(9): 1508-1516. DOI: 10.1016/j.ophtha.2008.04.017.
- [32] de Vries NE, Webers CA, Touwslager WR, et al. Dissatisfaction after implantation of multifocal intraocular lenses[J]. J Cataract Refract Surg, 2011, 37(5): 859-865. DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.11.032.
- [33] Packer M, Chu YR, Waltz KL, et al. Evaluation of the aspheric Tecnis multifocal intraocular lens: one-year results from the first cohort of the food and drug administration clinical trial[J]. Am J Ophthalmol, 2010, 149(4): 577-584. DOI: 10.1016/j.ajo.2009.10.022.
- [34] Voskresenskaya A, Pozdeyeva N, Pashtaev N, et al. Initial results of trifocal diffractive IOL implantation[J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2010, 248(9): 1299-1306. DOI: 10.1007/s00417-010-1424-8.
- [35] Sheppard AL, Shah S, Bhatt U, et al. Visual outcomes and subjective experience after bilateral implantation of a new diffractive trifocal intraocular lens[J]. J Cataract Refract Surg, 2013, 39(3): 343-349. DOI: 10.1016/j.jcrs.2012.09.017.
- [36] Mojzis P, Peña-García P, Liehneova I, et al. Outcomes of a new diffractive trifocal intraocular lens[J]. J Cataract Refract Surg, 2014, 40(1): 60-69. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.06.025.
- [37] Alió JL, Piñero DP, Plaza-Puche AB, et al. Visual outcomes and optical performance of a monofocal intraocular lens and a new-generation multifocal intraocular lens[J]. J Cataract Refract Surg, 2011, 37(2): 241-250. DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.08.043.
- [38] Ramón ML, Piñero DP, Pérez-Cambrodí RJ. Correlation of visual performance with quality of life and intraocular aberrometric profile in patients implanted with rotationally asymmetric multifocal IOLs[J]. J Refract Surg, 2012, 28(2): 93-99. DOI: 10.3928/1081597X-20111213-02.
- [39] Berrow EJ, Wolffsohn JS, Bilkhu PS, et al. Visual performance of a new bi-aspheric, segmented, asymmetric multifocal IOL[J]. J Refract Surg, 2014, 30(9): 584-588.
- [40] Venter JA, Barclay D, Pelouskova M, et al. Initial experience with a new refractive rotationally asymmetric multifocal intraocular lens[J]. J Refract Surg, 2014, 30(11): 770-776. DOI: 10.3928/1081597X-20141021-09.
- [41] Alió JL, Mulet ME. Presbyopia correction with an anterior chamber phakic multifocal intraocular lens[J]. Ophthalmology, 2005, 112(8): 1368-1374. DOI: 10.1016/j.ophtha.2005.02.029.
- [42] Sanders DR, Sanders ML. US FDA clinical trial of the Tetraflex potentially accommodating IOL: comparison to concurrent age-matched monofocal controls[J]. J Refract Surg, 2010, 26(10): 723-730. DOI: 10.3928/1081597X-20091209-06.
- [43] Ossma IL, Galvis A, Vargas LG, et al. Synchrony dual-optic accommodating intraocular lens. Part 2: pilot clinical evaluation[J]. J Cataract Refract Surg, 2007, 33(1): 47-52. DOI: 10.1016/j.jcrs.2006.08.049.
- [44] Demill DL, Hsu M, Moshirfar M. Evaluation of the American Society of Cataract and Refractive Surgery intraocular lens calculator for eyes with prior radial keratotomy[J]. Clin Ophthalmol, 2011, 5: 1243-1247. DOI: 10.2147/OPHTH.S24514.
- [45] Alió JL, Ben-nun J, Rodríguez-Prats JL, et al. Visual and accommodative outcomes 1 year after implantation of an accommodating intraocular lens based on a new concept[J]. J Cataract Refract Surg, 2009, 35(10): 1671-1678. DOI: 10.1016/j.jcrs.2009.04.043.
- [46] Ackermann R, Kunert KS, Kammel R, et al. Femtosecond laser treatment of the crystalline lens: a 1-year study of possible cataractogenesis in minipigs[J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2011, 249(10): 1567-1573. DOI: 10.1007/s00417-011-1772-z.
- [47] Chang DF, Braga-Mele R, Henderson BA, et al. Antibiotic prophylaxis of postoperative endophthalmitis after cataract surgery: results of the 2014 ASCRS member survey[J]. J Cataract Refract Surg, 2015, 41(6): 1300-1305. DOI: 10.1016/j.jcrs.2015.01.014.
- [48] Richdale K, Sinnott LT, Bullimore MA, et al. Quantification of age-related and per diopter accommodative changes of the lens and ciliary muscle in the emmetropic human eye[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2013, 54(2): 1095-1105. DOI: 10.1167/iov.12-10619.
- [49] Qazi MA, Pepose JS, Shuster JJ. Implantation of scleral expansion band segments for the treatment of presbyopia[J]. Am J Ophthalmol, 2002, 134(6): 808-815.

(收稿日期: 2016-12-11)

(本文编辑: 刘艳)